

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Ossi Vesanen

TUKIASEMAYHTEYKSIEN TOTEUTTAMINEN TDMoP-TEKNIKALLA

Tämä työ on jätetty tarkastettavaksi insinöörin tutkintoa varten

Tampereella 1.4.2009

Työn valvoja

Tampereen ammattikorkeakoulu, Lehtori Ari Rantala

Työn teettäjä

TeliaSonera Finland Oyj, ohjaajana Projektipäällikkö Ins. Jori Renfors

Tampere 2009

| | |
|--|--|
| Tietotekniikka Tietoliikennetekniikka Tutkintotyön tekijä Tutkintotyön nimi | Ossi Vesanen Tukiasemayhteyksien toteuttaminen TDMoP-tekniikalla |
| Päivämäärä Sivumäärä Hakusanat Koulutusohjelma Suuntautumisvaihtoehto Työn teettäjä | 1.4.2009 47 sivua + 18 liitesivua TDMoP, TDMoME, TDMoIP Tietotekniikka Tietoliikennetekniikka TeliaSonera Finland Oyj |
| Työn ohjaaja | Lehtori Ari Rantala |
| <p>Nykypäivän IP-verkkoliikenteen jatkuva kasvu ajaa operaattorit ympäri maailmaa siirtämään verkkoratkaisunsa pakettikytkentäisen verkon pohjalle. Kahden tai useamman verkkotekniikan rakentaminen ja ylläpitäminen aiheuttaa suuria kustannuksia ja siirtyminen yhden tekniikan päälle lisää verkon hallittavuutta. Pakettikytkentäisessä verkossa palvelujen määrä on huomattavasti suurempi kuin piirikytkentäisessä verkossa mm. IP- television ja IP-puhelinpalvelujen ansiosta.</p> <p>Kuitenkin tänäpäivänä suurin kasvu on kuitenkin langattomissa verkkopalveluissa kuten mobiili-tietoliikenteen pakettidataratkaisuissa. UMTS-tekniikka on mahdollistanut suurempien siirtonopeuksien saatavuuden ja nyt voidaan langattomasti toimittaa syrjäisemmillekin seuduille 2Mbit/s laajakaistayhteyksiä, joka nykyään on riittävä nopeus internetin käyttöön ja sähköpostien lukemiseen. Raskaat mobiilipalvelut, kuten mobiili-TV, vaativat toimiakseen ilman häiritsevää kuvan pikselöitymistä suuria siirtoyhteyksiä ja tämä on yksi syy miksi siirrymme kohti pakettikytkentäistä verkkoa. Lisäksi 3G-laajakaistan liikuteltavuus on houkuttanut niin kuluttaja- kuin yrityspuolen asiakkaat valitsemaan usein 3G-tekniikkaan perustuvan laajakaistan. Nämä kaikki aiheuttavat tarvetta suurempiin tukiasemien runkokapasiteetteihin siirtymistä ja pienen runkokapasiteetin omaavat tukiasemat tukkeutuvat hyvinkin nopeasti.</p> <p>TDMoP on tekniikka, joka kapseloi piirikytkentäiset TDM -liikenteet pakettikytkentäiseen Ethernet-verkon pakettiin. Sen avulla voimme tuoda asemille Ethernet-pohjaisen runkoyhteyden ja tuottaa kaikki palvelut IP-verkon yli. Näin voimme hyödyntää IP-pohjaista verkkoa entistä tehokkaammin siirryttäessä kohti All-IP-ratkaisua.</p> | |

| | |
|---|---|
| Information technology Telecommunications Author Engineering thesis | Ossi Vesanen Planning mobile backhaul connections by TDMoP-technology |
| Date Number of pages Keyword Degree programme Specialization Commission Company | 1.4.2009 47 pages + 18 appendix TDMoP, TDMoME, TDMoIP Computer systems engineering Telecommunications engineering TeliaSonera Finland Oyj: Supervisor Jori Renfors |
| Thesis supervisor | Senior Lecturer Ari Rantala |
| <p>Nowadays, when IP-based network traffic is increasing, network operators around the world are forced to switch their own network architecture from circuit switched to packet switched. Many different services can also be offered in packet switched network compared to circuit switched network e.g. IP-based television and IP-voice (VoIP). Maintenance and operation of two or more different network structures also cause a lot of expenses and network controllability becomes much better if only one network structure is used.</p> <p>However, the biggest upswing is in the wireless services. These days, 3G-technology makes higher bandwidths possible and enables to provide up to 3,6 Mbit/s wireless connections on the countryside, which is a fine speed for using basic internet services and e-mail applications. Services which need a higher bandwidth for example mobile-TV, need bigger backhails to work smooth which is one reason why operators are moving towards packet switched network. In addition, mobile broadband makes UMTS and other similar technologies very popular in various customer segments. Because of these and many other reasons, operators need to build larger and larger backhails for base stations. If the backhails are not fast enough, some base stations will be congested quickly.</p> <p>TDMoP is a technique, which encapsulates circuit switched services like TDM-channels to IP-networks packets. With it, operators are able to carry any type of services over the packet switched network to the base stations. In this way, operators can benefit from IP-network much more when moving towards All-IP solution.</p> | |

ALKUSANAT

Aloitin työni TeliaSonera BroadBand services- yksikössä toukokuussa 2007 aluepäällikkö Heikki Helinin alaisuudessa. Työn kuvani oli ensimmäisen puolenvuoden aikana suunnitella pääasiassa kiinteän kaupunkiverkon kuitukaapelilaajennuksia sekä päivittää TeliaSoneran tietojärjestelmiä. Viimeisen vuoden aikana suunnittelutehtävät ovat laajentuneet myös radiolinkkiyhteyksien rakennuttamiseen ja vanhan radioverkon uusimiseen ja sitä kautta TeliaSoneran tukiasemien siirtoyhteyksien nopeuksien kasvattamiseen. Lisäksi suunnittelutyöhön on kuulunut SDH-verkon rakentaminen, laajentaminen ja päivittäminen. Tämän työn ansiosta pääsin käsittelemään myös IP -verkkolaitteiden toimintaa ja rakennetta, kuten TDMoP-tekniikkaa. Kiinnostuin TDMoP-tekniikasta kun alkusyksyllä 2008 sain tietää TeliaSoneran ottavan käyttöön kyseisen tekniikan tukiasemakohteisiin vuonna 2009.

Haluan kiittää suuresta tuesta avopuolisoani, ja tätä kirjoittaessani esikoistamme odottavaa Johanna Nybergiä ja perhettäni näiden raskaiden kouluvuosien aikana. Lisäksi haluan sanoa kiitokset läheisimmille työtovereilleni muun muassa Reijo Hakalalle, joka oli suuressa roolissa tätä työtä tehdessäni. Hänen panostuksensa työhöni oli korvaamatonta. Kiitokset myös arvokkaista neuvoista kuuluu tätä työtä TeliaSoneran puolesta valvoneelle Jori Renforsille, esimies Heikki Helinille, Hannu Kauppilalle, Antti Sipilälle, Erkki Kalliolle, Asko Niemelälle ja Jouko Karjalaiselle.

Kiitokset Tampereen ammattikorkeakoululle ja erityisesti työn valvojalle Ari Rantalalle ja Jorma Punjulle loistavasta yhteistyöstä vuosien varrella.

Tampereella 1.4.2009

Ossi Vesanen

Työ on tehty TeliaSonera Finland Oyj:lle

Työ on salainen (ei julkinen)

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|------------|
| TIIVISTELMÄ | i |
| ABSTRACT | ii |
| ALKUSANAT | iii |
| SISÄLLYSLUETTELO | iv |
| LYHENNELUETTELO | v |
| | |
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. TIETOLIIKENNE | 2 |
| 2.1 Tietoliikenteen historia | 2 |
| 2.2 OSI-arkkitehtuuri | 3 |
| 3. PIIRIKYTKENTÄINEN VERKKO | 4 |
| 3.1 TDM – kanavointitekniikka | 5 |
| 3.2 TDM - kehysrakenne ja toiminta | 6 |
| 3.3 PDH/SDH – järjestelmät | 7 |
| 3.3.1 PDH | 7 |
| 3.3.2 SDH | 9 |
| 4. PAKETTIKYTKENTÄINEN VERKKO | 12 |
| 4.1 IP- Internet protokolla | 12 |
| 4.1.1 IP-kehysrakenne IPv4 ethernet-verkoissa | 13 |
| 4.1.2 Palvelun laatu (Quality of Service) | 15 |
| 4.2 ATM – Asynchronous transfer mode | 16 |
| 5. LANGATON TIETOLIIKENNE | 18 |
| 5.1 GSM | 18 |
| 5.2 UMTS | 20 |
| 6. TDMoP-Time Division Multiplexing over Packet | 21 |
| 6.1 Looginen tilaajajohto, pseudowire | 21 |
| 6.1.1 Loogisen johtimen muodostaminen siirtokerroksella | 23 |
| 6.1.2 Loogisen johtimen muodostaminen verkkokerroksella | 25 |
| 7. LAITTEISTO | 27 |
| 8. TDMoP-TUKIASEMIEN SUUNNITTELU | 28 |
| 9. LÄHTEET | 29 |
| 10. LIITTEET | 30 |

LYHENNELUETTELO

| | |
|-----------|---|
| 2G | Second generation, toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä |
| 3G | Third generation, kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä |
| AAL1 | ATM adaption layer 1, ATM-sovituseros 1 mm. digitaalinen puheliikenne |
| AAL2 | ATM adaption layer 2, ATM-sovituseros 2 mm. analoginen tiedonsiirto |
| ATM | Asynchronous transfer mode, Asynkroninen siirtotapa |
| BSC | Basestation controller, 2G-tukiasemaohjain |
| BTS | Base transceiver station, 2G-tukiasema |
| CES | Circuit emulated services, Piirikytkentäiset palvelut |
| CESoPSN | Circuit emulated services over Packet switched network, Piirikytkentäiset palvelut pakettiverkossa |
| CSN | Circuit switched network, Piirikytkentäinen verkko |
| DSLAM | Digital subscriber line access multiplexer, Digitaalisen tilaajajohtimen verkkoliityntä multiplekseri |
| E1, E2... | PDH-järjestelmän nopeusluokat |
| ETH | Ethernet |
| FDM | Frequency division multiplexing, Taajuusjakokanavointi |
| FE | Fast Ethernet, 10/100 Mbit/s Ethernet |
| GE | Gigabit Ethernet |
| GPRS | General Packet Radio Service, GSM-verkon pakettiverkkopalvelu |
| GSM | Global System for Mobile communications |
| HSDPA | High speed downlink packet access |
| IMA | Inverted multiplexing over ATM |
| IP | Internet protocol |
| IPTV | Internet protocol television |
| LSE | Large size equipment, Runkopisteen keräilykytkin |
| ME | Metro Ethernet, Alueverkko-Ethernet |
| MPLS | Multi Protocol Label Switching, MetroEthernet- protokolla |
| MSE | Medium size equipment, Keskisuuren laiteaseman kytkin |
| Node-B | UMTS-basestation, UMTS-tukiasema |

| | |
|--------|---|
| PDH | Plesiochronous digital hierarchy, Plesiokroninen digitaalinen hierarkia |
| PSN | Packet switched network, Pakettikytkentäinen verkko |
| PW | Pseudowire, Looginen tilaajajohdin |
| QoS | Quality of service, Palvelun laatu IP-verkossa |
| RNC | Radio Network Controller, 3G-tukiasemaohjain |
| SAToP | Structure-agnostic transport of TDM over Packet |
| SDH | Synchronous digital hierarchy, Synkroninen digitaalinen hierarkia |
| SSE | Small size equipment, Pienen laiteaseman tilaajakytkin |
| STM | Synchronous transfer module, Synkroninen siirtomoduli |
| TDM | Time division multiplexing, Aikajakokanavointi |
| TDMoIP | Time division multiplexing over Internet protocol, Aikajakokanavointi IP-verkon yli |
| TDMoME | Time division multiplexing over Metro Ethernet, Aikajakokanavointi ME-verkon yli |
| TDMoP | Time division multiplexing over Packet, Aikajakokanavointi pakettikytkentäisen verkon yli |
| UMTS | Universal mobile telecommunications system, |
| VC | Virtual Container, Virtuaalikontti |
| VLAN | Virtual Local Area Network, Virtuaalinen lähiverkko |
| VLL | Virtual Leased Line, Virtuaalinen johdin ME-verkossa |
| VoIP | Voice over Internet Protocol, Puhepalvelu pakettikytkentäisessä verkossa |
| VPN | Virtual Private network, Virtuaalinen yksityisverkko |
| xDSL | Digital subscriber line, Digitaalinen tilaajajohdin |

1. JOHDANTO

Tässä työssä käydään läpi GSM-tukiasemien aikajakaisen puheliikenteen kehystämisestä TeliaSoneran IP -verkkoon TDMoP -tekniikalla Suomessa.

Yksi hyöty uuteen TDMoP-tekniikan hyödyntämisessä piilee nykypäivänä siinä, että tulevaisuudessa kaikki mahdollinen media, kärkipäässä liikkuva kuva ja ääni, saataisiin kokonaisuudessaan IP -verkkoon ja näin mahdollistettaisiin erilaisten palvelujen, kuten IPTV:n ja VoIP:n laajempi hyödyntäminen. Tulevaisuudessa ja jo tänäkin päivänä, IP -verkkoa voidaan hyödyntää esim. kodin viihde-elektroniikan, kodinkoneiden sekä muiden elektronisten laitteiden ohjaamiseen, ajastamiseen jne., mutta se ei ole yleistynyt kalliiden oheislaitteiden kuluttajahintojen vuoksi. Selkeä hyöty on myös operaattoreille verkon optimoimisesta IP-verkkoon, koska se helpottaa verkon hallintaa, lisää palveluja sekä tekee suuria kustannussäästöjä tulevaisuudessa.

Tässä työssä GSM-tukiasemien TDMoP-tilaajalaitteeksi päädyttiin käyttämään xxx:n valmistamaa xxx-kytkintä ja runkopisteiden keräilykytkimenä yyy-kytkintä. tilaajalaitteet tultiin asentamaan 11 eri GSM/UMTS -tukiasemalle Hämeenlinnassa, Lahdessa, Heinolassa sekä Tampereella. Tässä työssä käsittelem neljää kohdetta Tampereelta. Vertailen myös piirikytkentäistä ja pakettikytkentäistä verkkoa sekä käyn teoriaa läpi erilaisista kanavanjakotekniikoista ja IP-verkosta. Lopuksi käyn läpi hieman tulevaisuutta ja tietoturvallisuutta.

2. TIETOLIIKENNE

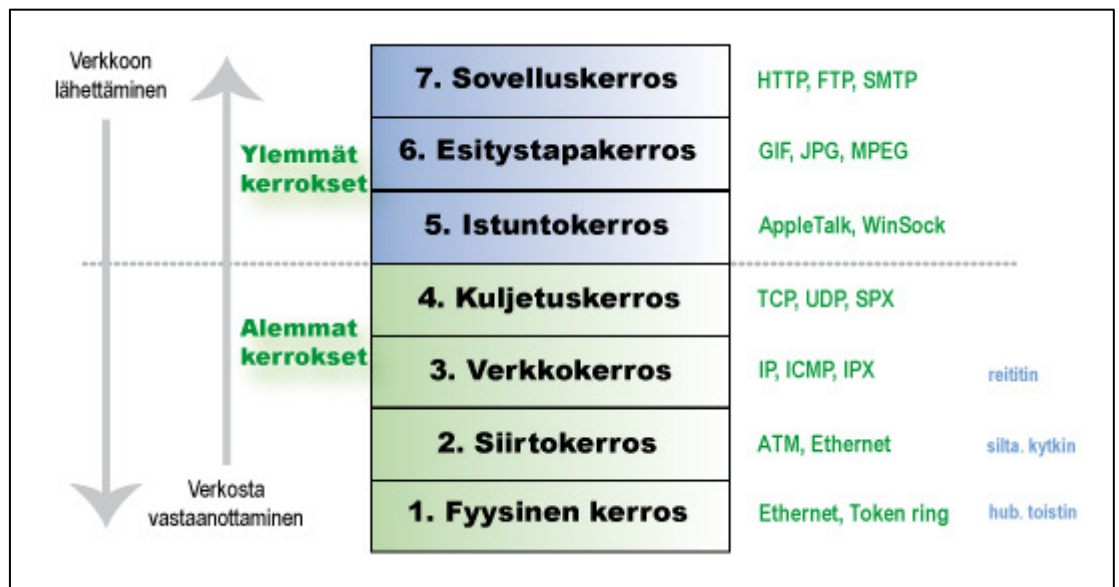
Tietoliikenne on käsitteenä hyvinkin yksinkertainen; tiedon välittämistä lähettäjältä vastaanottajalle. Nykypäivänä se kuitenkin on tärkein elementti niin yksityisille henkilöille, yrityksille, sotilasteollisuudelle ja armeijoille, sairaaloille, avaruusteknologialle jne. Ei siis ole yhden tekevää miten verkot nykypäivänä rakennetaan ja pitää miettiä tarkasti mitä ja miten toteutetaan erilaisia yhteyksiä eri tahoille. Tietoliikennetekniikat kehittyvät kaikista maailman aloista kaikkein nopeimmin ja jo muutamassa kuukaudessa kehitellään yhä uusia ja tehokkaampia protokollia ja tekniikoita tiedon välittämiseen. Alaan panostetaan valtavia määriä rahaa ja kilpajuoksu eri laitevalmistajien ja eri ohjelmistoyhtiöiden välillä on kovaa. Tietoliikenne käsittää aiheena niin langattomat verkot kuin kiinteät kupari- ja kuitukaapeliverkotkin.

2.1 Tietoliikenteen historia

Sähköisen tietoliikenteen voidaan katsoa keksineeksi **William Fothergill Cooke** ja sir **Charles Wheatstone** Lontoossa vuonna 1838, kun he keksivät maailman ensimmäisen *sähköisen lennättimen*, jossa lennätin käytti useaa johdinta joilla ohjattiin viiden eri viisarin liikettä. Näiden viisareiden liikkeiden avulla pystyi vastaanottaja lukemaan lähetetyn sanoman. Kuitenkin ehkä tunnetuimman sähköisen lennättimen kehittivät Yhdysvaltalaiset **Samuel Morse** ja **Alfred Vail** New Yorkin ja Baltimoren välille vuonna 1844. Tämä lennätin oli huomattavasti käytännöllisempi kuin Wheatstonen ja Cooken lennätin, koska se perustui yhteen johtimeen ja eri merkit koodattiin muodostamalla merkkikohtaisia pulssijonoja. Tämä tekniikka tunnetaan nykyään myös nimellä *Morsen aakkoset*.
Langattoman tietoliikenteen, joka perustuu sähkömagneettisen aaltoliikkeeseen, voisi katsoa keksineeksi Skotlantilainen **James Clerk Maxwell** vuonna 1873, jonka teorian todisti käytännökkökeilla saksalainen **Heinrich Rudolf Hertz** n. vuonna 1887. Nykypäivän tietoliikenne perustuu samoihin fysiikan lakeihin nojautuen, mutta taajuudet ovat moninkertaistuneet, antennit ovat tehokkaampia ja pienikokoisempia, sekä siirtonopeudet ovat parhaimmillaan miljardien kertoluokkaa.

2.2 OSI-arkkitehtuuri

OSI -arkkitehtuuri (*Open Systems Interconnection*) on malli, joka luotiin vuonna 1977 ISO- järjestön (*International Organization for Standardization*) toimesta luomaan toimintamallit tietoliikenteelle. Syntyi siis OSI -viitemalli (Kuva 2.1), joka kertoo kuinka tietokoneet yhdistetään toisiinsa hajautetussa tietojärjestelmässä.

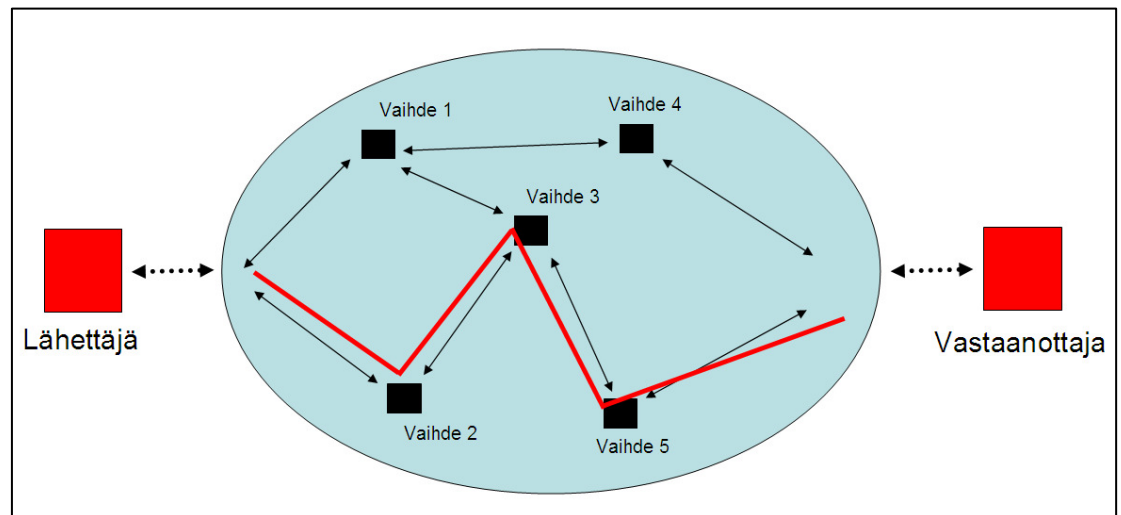


Kuva 2.1 OSI-arkkitehtuuri/21/

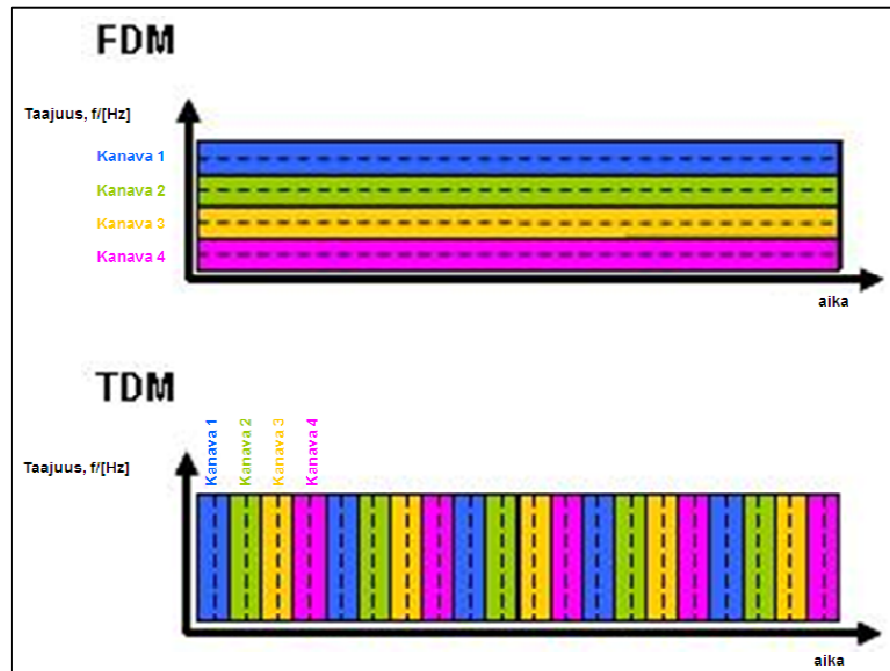
Tavoitteena OSI -mallin kehittämisessä oli saada aikaan kerros-arkkitehtuuri ja OSI-mallissa onkin ns. ”kerrosajattelu”, jossa jokainen ”kerros” tuottaa n määrän palveluja kerrokselle $n+1$ eli ylemmälle kerrokselle, samalla kun se käyttää $n-1$ kerroksen palveluja eli alemman kerroksen palveluja. Tässä työssä keskitytään pääasiassa kolmeen ensimmäiseen kerrokseen, koska se on tämän työn kannalta oleellisin, koska käsittelemme IP- maailmaa, piiri- ja pakettikytkentäistä verkkoa ja niiden käsitteitä. /1, s.7/

3. PIIRIKYTKENTÄINEN VERKKO

Yleisesti ottaen nykypäivän tietoliikenne verkot voidaan jakaa kahteen tyyppiin: piirikytkentäisiin (Kuva 3.1) – ja pakettikytkentäisiin verkkoihin. Piirikytkentäisen verkon (*Circuit switched network*) idea on, että siinä kaksi päätä (lähettäjä ja vastaanottaja) muodostavat fyysisen, koko yhteyden ajan kestävän yhteyden (*yhteydellinen yhteys*), eräänlaisen putken toisensa välille ja tämä yhteys on vain ja ainoastaan ko. lähettäjän ja vastaanottajan välillä ja lisäksi yhteys säilyy (ts.kanavan kapasiteetti pysyy varattuna) vaikka dataa ei kulkisikaan näiden välillä. Tällainen tekniikka on käytössä esimerkiksi nykypäivän puhelinverkoissa mm. GSM:ssä ja ISDN:ssä. Toiminta perustuu siihen, että siinä on jaettu käytettävissä oleva siirtokapasiteetti 64kbit/s-puhekanaviin, jotka lomitetaan käyttäjien kesken joko *taajuudellisesti* tai *ajallisesti* (Kuva 3.2). Näitä lomitustekniikoita kutsutaan *taajuusjakokanavoinniksi* (FDM, *frequency division multiplexing*) ja *aikajakokanavoinniksi* (TDM, *time division multiplexing*). Tässä työssä käsitellään pääasiassa aikajakoiseen tekniikkaan perustuvaa kanavointitekniikkaa./1, s.106/



Kuva 3.1 Piirikytkentäisen verkon periaate



Kuva 3.2. Taajuus -ja aikajakaisen kanavoinnin periaate.

3.1 TDM – kanavointitekniikka

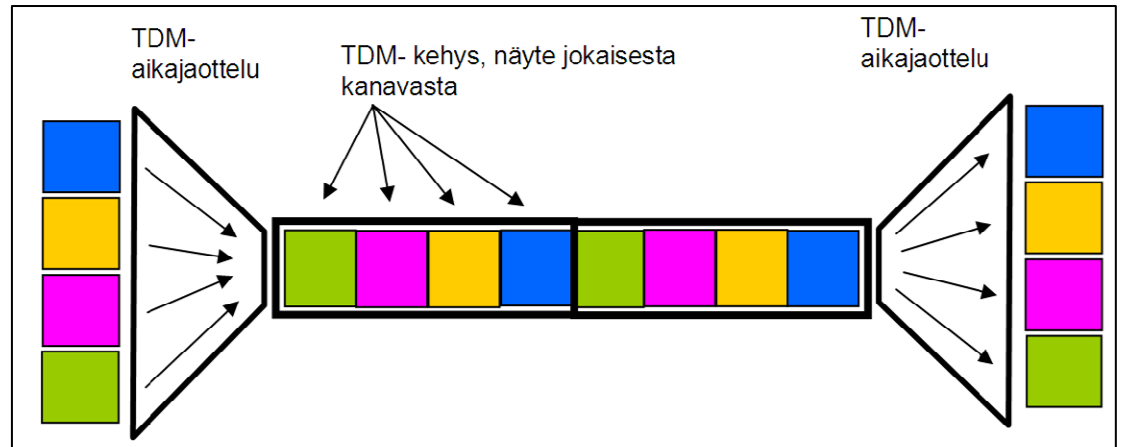
Aikajakaisen kanavointitekniikan voidaan katsoa syntyneeksi digitaalisen tietoliikenteen (*PCM, Pulse code modulation*) mukana. Tietojen mukaan kyseisen tekniikan kehitti amerikkalainen Bell labs vuonna 1962, testatessaan omaa 4-johdinyhteyttä omassa pääkonttorissaan kahden analogisen puhelinvaihteen välillä. Toisin kuin taajuusjakoisessa kanavointitekniikassa, aikajaottelussa ei jaeta käytössä olevaa kaistanleveyttä kanavien kesken, vaan jaetaan aikaa kullekin kanavalle, joka saa tietyksi ajanjaksoksi koko käytettävissä olevan siirtokapasiteetin (kaistanleveyden) käyttöönsä.

Kuten näemme kuvasta 3.3, TDM -kehys sisältää näytteen jokaisesta kanavasta, ja kun näytteet jokaisesta kanavasta on saatu, muodostetaan siitä TDM -kehys, joka lähetetään vastaanottajalle. Kyseiset näytteet voivat olla joko bittejä tai tavuja.

Riippuen kummasta suureesta on kyse, puhumme bittilomituksesta (*bit interleave*) tai merkkilomituksesta (*character interleave*).

Piiriyhteyksissä verkossa tämä tekniikka on yleisesti käytössä. Tekniikka on sinänsä varmatoiminen, koska tietty, ennalta määrätty kapasiteetti on aina käytössä kanavakohtaisesti, eikä sitä voi muut kanavat käyttää. Tämä on myös tekniikan huono puoli, se että vaikka yksi kanava olisi vain käytössä, niin se ei silti saa käyttöönsä viereisten kanavien kapasiteettia. Muiden kanavien ollessa passiivisina, lähettää

järjestelmä niissä vain 1-bittinä. Järjestelmä on nk. *deterministinen* (=ennalta määrätty), eli se on ja pysyy sellaisena kuin se on suunniteltu toimivan. Puhelinjärjestelmissä tämä on tärkeä asia, koska esimerkiksi pakettikytkentäinen verkko, joka on *epädeterministinen*, voi muuttua sen mukaan miten paljon verkkoa kuormitetaan./1, s.107;7;8/



Kuva 3.3 TDM aikajakotekniikan periaate

3.2 TDM - kehysrakente ja toiminta

Jotta voidaan ymmärtää paremmin työssä käsiteltävän TDMoP-tekniikan toimintaa, on hyvä käydä läpi hieman aikajakaisen kanavoinnin toimintaa. Aikaisemmin kerrottiin että TDM -tekniikassa informaatio bittilomitetaan tai merkkilomitetaan. Koska työssä on käsittelyssä ainoastaan GSM-verkon puheliikenteet, niin keskitymme ainoastaan bittilomitukseen perustuvaan TDM-tekniikkaan jota käytetään nykypäivän GSM-verkoissa.

PCM -yhteyksien kanavointi riippuu standardista. Euroopassa on käytössä CCITT:n (*International Telegraph and Telephone Consultative Committee*) määrittelemä 30 kanavainen järjestelmä ja Amerikassa Bell labsin kehittämä 24 kanavainen järjestelmä.

Koska työ tehdään Euroopan standardeihin perustuvan järjestelmän puitteissa, käsittelemme siis ainoastaan sitä.

Eurooppalaisissa PCM -verkoissa kehykset muodostuvat yhteensä 32 kanavasta (1-15 ja 17-31) jotka edelleen muodostuvat 8 bitistä, lisäksi on tahdistusaikaväli (aikaväli 0), lähettäjän ja vastaanottajan synkronointia varten ja merkinantoaikaväli (aikaväli 16)kanavakohtaista merkinantoa varten(kertoo onko linja auki vai kiinni). Standardi

puheen näytteenottotaajuus on 8000Hz. Tästä voidaan laskea kanavakohtaiseksi siirtonopeudeksi:

$$8\text{bit} \cdot 8000 \frac{1}{s} = 64000 \text{bit}/s \Rightarrow 64 \text{kbit}/s \quad (1)$$

Josta voimme edelleen laskea, että kun on 30 kappaletta 64kbit/s puhekanavaa ja näiden lisäksi synkronointikanava ja merkinantokanava, saadaan lasketuksi:

$$32\text{kanavaa} \times 64 \text{kbit}/s = 2048 \text{kbit}/s \quad (2)$$

Saatu tulos on standardoitu nopeus, jota kutsutaan E1. Kyseessä on PDH/SDH-järjestelmien alin nopeus luokka. Nämä järjestelmät ovat nykypäivän piirikytkentäisen verkon perusta. Seuraavassa luvussa on kerrottu tarkemmin näistä järjestelmistä./7;8/

3.3 PDH/SDH – järjestelmät

PDH -järjestelmä on vanhin tunnettu digitaalinen siirtotekniikka. Se perustuu TDM-pohjaiseen pulssikoodimodulaatioon (*PCM, Pulse Code Modulation*). Alun perin PDH-järjestelmän kehitettiin koaksiaalikaapelijärjestelmille, mutta myöhemmin niihin tulivat myös optiset liitännät kuitua varten.

1990-luvulle mentäessä, kehitettiin uuden sukupolven digitaalinen hierarkia, SDH, joka nykypäivänä käsittää koko digitaalisen puhelinverkon järjestelmän korvaten em. PDH -järjestelmän. SDH on yhteensopiva sekä PDH- että ATM-tekniikan kanssa ja sillä voidaan toteuttaa siirtonopeuksia aina 10Gbit/s asti.

3.3.1 PDH

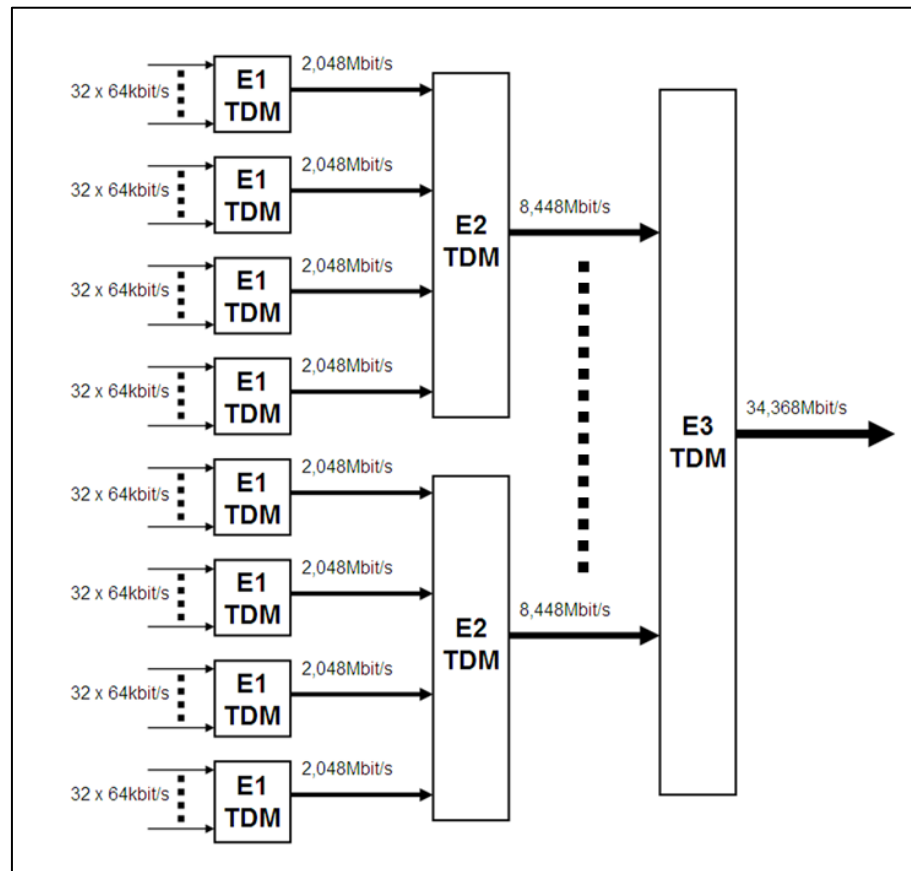
PDH (*Plesiochronous digital hierarchy*)-järjestelmä kehittyi aikoinaan digitaalisen puhelinverkon yhteydessä luotujen tiedonsiirtojärjestelmien, kuten ISDN:n, hierarkiaksi. PDH -hierarkian alimpana tasona toimivat, jo edellä mainitut 64kbit/s-puhekanavat, jotka aikalomitetaan 2048kbit/s nopeudella toimiviin E1-nopeuksiin.

Tästä eteenpäin nämä E1-nopeuksiset lomitetaan E2-nopeuteen (8,448kbit/s) ja E2 nopeudet E3-nopeuteen (34,368kbit/s) jne. Nämä nopeusluokat ovat esitetty kuvassa 3.4. /1/

Taulukko 3.4 PDH- järjestelmän nopeusluokat

| TASO | Puhekanavat | Siirtonopeus [Mbit/s] |
|------|-------------|-----------------------|
| E1 | 30 | 2.048 |
| E2 | 120 | 8.448 |
| E3 | 480 | 34.368 |
| E4 | 1920 | 139.264 |
| E5 | 7680 | 565.148 |

E1- nopeuksista mentäessä hierarkiassa ylöspäin, muuttuvat myös kehyksien lomitustekniikka. Aiemmin puhuimme että olemassa on kaksi tekniikkaa aikajakoisessa kanavoinnissa, bittilomitus ja tavulomitus. 64kbit/s kanavat toteutetaan E1-tasolle bittilomituksena, ja E2-tasot, ja tästä suuremmat tasot, tavulomituksena. On myös hyvä huomioida että eräänlainen ongelmallisuus syntyy siirryttäessä hierarkiasta ylöspäin. Koska eri E1-kehykset ei saavu kanavointilaitteisiin täsmällisesti samaan aikaan, saman kellon mukaan, tarvitaan tätä varten synkronointikello, joka määrää bittivirrannopeuden bittilomitustilanteessa. Tästä johtuen E2-kehukseen on lisätty hitusen ylikapasiteettia jotta voidaan korjata lomituksessa syntyneet nopeuserot. Tästä ”ongelmallisuudesta” johtuu myös nimitys *pleiokroninen* digitaalinen hierarkia, ”melkein synkroninen” digitaalinen hierarkia. /1, s.349; 3, s.395/



Kuva 3.5 PDH-hierarkia

3.3.2 SDH

SDH (*Synchronous digital hierarchy*) kehitettiin 1980-luvun puolivälissä nopeasti kasvaville optisille siirtoverkoille, ajatuksena luoda yksinkertainen ja taloudellisesti järkevä ratkaisu.

Tuloksena syntyi ITU-T – suositukset G.707 (siirtonopeudet), G.708 (verkkosolmurajapinta) ja G.709 (kanavointimenetelmät), jotka myöhemmin muodostuivat yhdeksi suosituskokonaisuudeksi G.707. Näiden suositusten ensisijaisena tarkoituksena oli huolehtia että:

- optiset siirtoyhteydet ovat yhteensopivia toisensa kanssa
- useamman kanavan liikenne voidaan lomittaa nopeammalle kanavalle
- verkon valvonta, hallinta ja huolto tulisi hoitaa

Verrattuna edellä käsitelyyn PDH -tekniikkaan, SDH -järjestelmässä käytetään synkronista *lomitusta*. Tämä edesauttaa siinä, että PDH -tekniikassa kun haluaisimme hierarkian suurimmilta kehyksiltä ”tiputtaa” yhden E1-kehiksen, joudumme purkamaan koko hierarkian E1-tasolle sen samassa järjestyksessä kuin olemme sen

koonnutkin. SDH -tekniikassa tätä ei tarvitse tehdä, vaan siinä voidaan mikä tahansa nopeus tiputtaa tai nostaa eri kehyksille, ilman raskaita, fyysisiä purkumenetelmiä. SDH -tekniikassa on määritelty myös hierarkia eri nopeuksille (ITU-T suositus G.707), joita kutsutaan nimellä STM (*Synchronous transport module*). Alimpana nopeutena STM-1 joka siirtonopeus 155,520 Mbit/s ja tästä seuraavat ovat STM-4, STM-16 ja STM-64. Nämä ovat STM-1:n monikertoja jotka huomaa STM:n perästä löytyvästä luvusta, esimerkiksi STM-16 nopeus tulee seuraavasti:

$$STM - 1 \times 16 \Rightarrow 155,320 \text{ Mbit/s} \times 16 = 2488,320 \text{ Mbit/s} \quad (3)$$

Taulukko 3.6 SDH -järjestelmän nopeusluokat

| SDH | Nopeus [Mbit/s] |
|--------|-----------------|
| STM-1 | 155, 520 |
| STM-4 | 622, 080 |
| STM-16 | 2488, 320 |
| STM-64 | 9953, 280 |

Jotta voidaan ymmärtää paremmin SDH -järjestelmää, käydään läpi hieman STM-1 rakennetta eli SDH -järjestelmän alinta nopeusluokkaa. STM-1 kehys koostuu 2430 tavusta, jota siirretään verkossa 8000 kertaa sekunnissa, saamme siirtonopeudeksi:

$$\left(8 \text{ bit} \times 8000 \frac{1}{s} \right) \times 2430 \text{ tavua} = 155,520 \text{ Mbit/s} \quad (4)$$

Huomataan, että koska SDH on synkroninen järjestelmä, joka siirtää 8000 kehystä sekunnissa, niin se sopii myös erilaisten digitaalisten puhelinjärjestelmien alustaksi. Tähän sarjaan kuuluu myös tässä työssä käsiteltävien GSM-verkkojen puheliikenne. STM -n – kehyksessä voidaan kuljettaa erilaisia hyötykuormia kuten esim. E1-tason kehyksiä. Tämä mahdollistaa PDH -järjestelmien liikenteen siirtämisen SDH -järjestelmään ilman suuria verkkomuutoksia, joka onkin suuri etu operaattoreille. Varsinainen käyttäjätieto/hyötykuorma kuljetetaan SDH -verkossa virtuaalikonteissa (VC, *Virtual Container*) johon on lisätty loogista polkua kuvaava tieto POH (*Path*

over Head). Tämä hyötykuorma pitää sisällään alijärjestelmäyksiköt (*Triburary unit*) esimerkiksi E1-kehys. E1-kehys kulkee siis VC-12 kontissa.

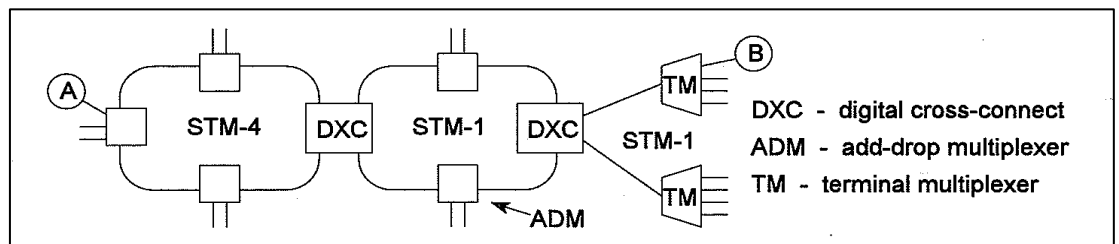
Taulukko 3.7 Virtuaalikonttien siirtonopeudet

| Kontti | Siirtonopeus [Mbit/s] |
|--------|-----------------------|
| VC-12 | 2,176 |
| VC-2 | 6,784 |
| VC-3 | 48,384 |
| VC-4 | 149,76 |

SDH -verkko muodostuu pääosin neljästä osasta:

- Digitaalisista ristikytkentälaitteista (**DXC**, *digital cross connect*)
- Syöttö-pudotus multipleksereistä (**ADM**, *Add Drop multiplexer*)
- Päätelaitteista (**TM**, *Terminal multiplexer*)
- Toistimista (**R**, *Repeater*)

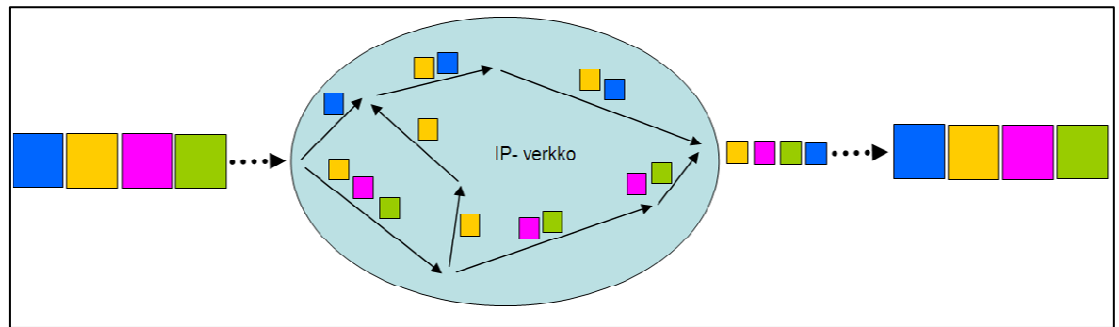
Näistä varsinaisen SDH -renkaan muodostavat ADM -laitteet, jotka suorittavat synkronoinnit, vastaavat alijärjestelmien lomittamisesta SDH -kehyyksiin sekä muodostavat SDH -kehukset. SDH -verkon keskeisimmät laitteet eli digitaaliset ristikytkentälaitteet yhdistävät SDH -renkaita toisiinsa, eli ne erottelevat kanavat eri reittiä saapuvista bittivirroista sekä yhdistellä niitä uudestaan lähteviin bittivirtoihin. Päätelaitteet hoitavat yhteyden SDH -verkon ja alijärjestelmän välillä, eli suorittavat kanavoinnin lähtevälle sekä saapuvalla bittivirralla. Toistimet nimensä mukaisesti regeneroivat signaalit ja vahvistavat niitä siirtoetäisyyden kasvattamiseksi. Kuvassa 3.7 on esitetty yksinkertainen SDH -verkon rakenne. /1, s.351; 5, s.74 /



Kuva 3.7 SDH -verkon rakenne/1/

4. PAKETTIKYTKENTÄINEN VERKKO

Pakettikytkentäisen verkon (*packet switched network*) toiminta perustuu tiedon (datan) jakamisesta osiin eli *paketteihin* (*packet*). Pakettikytkentäisessä verkossa ei ole ennalta varattua kapasiteettia yhteyksille vaan pakettikytkennässä varataan kanava ajaksi, jonka lähetettävä data vaatii (*yhteydetön yhteys*). Ero piirikytkennän ja pakettikytkennän välillä on se, että pakettikytkennässä ei muodosteta yhteyttä lähettäjän ja vastaanottajan välille, vaan paketit kuljetetaan vastaanottajalle verkossa paketteihin liitettyjen osoitteiden perusteella. Tästä johtuen lähetetyt paketit voivat saapua vastaanottajalle eri reittiä ja jopa eri järjestyksessä, mutta vastaanottaja osaa järjestää paketit oikein päin IP -pakettiin lisätyn tunnisteiden avulla.



Kuva 4.1 Pakettikytkentäisen verkon periaate

Pakettikytkentäisen verkon suosio kasvaa nykypäivänä jatkuvasti johtuen erityisesti verkon tehokkuudesta käyttää olemassa olevaa verkkoa. Siinä olemassa oleva siirtokapasiteetti voidaan jakaa erittäin dynaamisesti eri pakettien kesken. Piirikytkentäisessä verkossahan kanavan siirtokapasiteetti oli varattu jatkuvasti vaikka kanava ei ollut aktiivisena. Lisäksi pakettikytkentäisessä verkossa voidaan liikenteen ruuhkautuessa pilkota käytettävissä oleva siirtonopeus pakettien kesken, tämä tietysti alentaa nopeutta, mutta piirikytkentäinen verkko hylkää kokonaan yhteyden verkon ollessa ruuhkautunut. /10/

4.1 IP- Internet protokolla

Koko pakettikytkentäisen verkon selkärangana toimii OSI -mallin verkkokerroksella toimiva IP -protokolla (*internet protocol*). Sen avulla pakettiverkossa paketit liikennöivät tietokoneelta toiselle niihin liitettyjen IP -osoitteiden avulla ja IP on ainoa asia, joka internetiin liitettyjä tietokoneita yhdistää. Kuitenkin IP ei määrittele

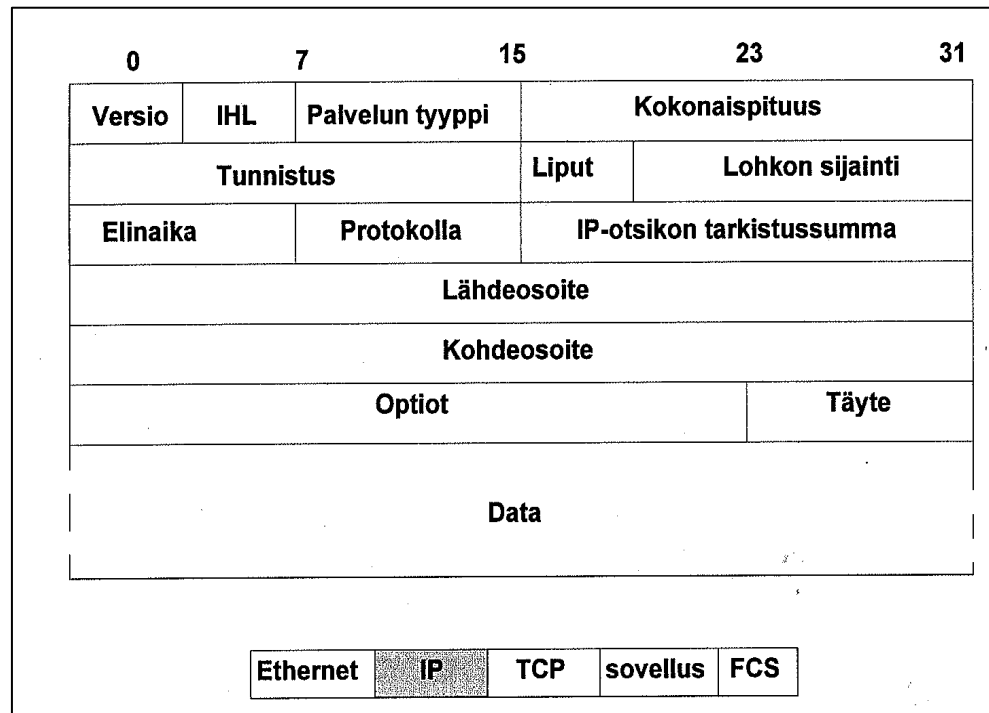
sitä, saadaanko paketteihin jaettu tieto lähetettyä ehjänä ja oikeassa järjestyksessä vastaanottajalle, sitä varten on kehitetty OSI -mallin siirtokerroksella toimiva TCP – protokolla (*Transmission control protocol*). Sen tehtävä on yksinkertaisuudessaan hoitaa yhteys tilaajalta tilaajalle, korjaten mahdolliset virheet.

Toinen siirtokerroksen protokolla UDP (*User datagram protocol*), jonka tehtävä on ilman virheenkorjausta lähettää data tietosähkeperiaatteella (datagram-periaate). Koska nykypäivän internet toiminta ja ydin perustuvat IP ja TCP käytäntöön, niistä puhutaan monesti vain TCP/IP -protokolla.

Historiassa TCP/IP–protokollia ryhdyttiin kehittämään 1970-luvulla, kun yhdysvaltojen puolustusministeriön DoD:n (*Department of Defence*) ylläpitämä tutkimustoimistossa, ARPANETissä (*Advanced Research Projects Agency NETWORK*) oli 1970-luvulla vain epäluotettavalla ja tehottomalla NCP -protokollalla toteutettu tietokoneverkko. Haluttiin tilalle tehokkaampi, monipuolisempi ja ennen kaikkea luotettavampi tiedonsiirto. ARPANET jatkoi kehitystään TCP/IP-protokollilla ja siihen liittyi maan yliopistoja ja myöhemmin myös eurooppalaisia solmuja. ARPANET sulkeutuikin vuonna 1990, ja tilalle syntyi internet./11; 5, s.78/

4.1.1 IP-kehysrakenne IPv4 ethernet-verkoissa

Ethernet on maailman yleisin lähiverkkotekniikka joka ulottuu kaikkialle maailmaan. Sen vuoksi käsittelen IP -kehysten rakennetta Ethernet -lähiverkoissa. TCP/IP - verkkoliikenteen pohjalla toimii IP. Yhteydettömänä protokollana olemassa oleva verkko ei ota siihen mitään kantaa, miten IP-tietosähke (datagrammi) verkossa kuljetetaan perille. Internet-kerroksessa liikenne siis perustuu tietosähkeisiin ja seuraavaksi on esitetty kuvassa 4.2 IP -tietosähke Ethernet -kehyksessä./2, s.163/



Kuva 4.2 IP -kehysrakenne Ethernet -verkoissa

IP -otsikon rakenne on esitetty kuvassa 4.2 Nähdään että se koostuu 32 bitistä, eli 576 oktettista. Lyhyesti kerrottuna lohkojen tehtävät ovat:

VERSIO

kertoo IP -protokollan käytettävän version, jonka mukaan paketti on koottu.

IHL (*Internet header length*)

ilmaisee IP -otsikon pituuden 32 bitin sanoina. Pienin sallittu arvo on 5 bittiä eli 20 oktettia.

PALVELUN TYYPPI

Kertoo lähettäjän palvelun laadun eli paketin prioriteetti, viive, läpimeno ja luotettavuus.

KOKONAISPITUUS

Ilmoittaa IP -paketin pituuden oktetteina.

TUNNISTUS

Lähettäjä luo jokaiseen pakettiin erillisen ja yksilöllisen tunnistuskoodin, jota käytetään datagrammin yksilöimiseen uudelleen koottaessa. Uudelleen kokoamiseen liittyy myös lippu- ja lohko kentät.

LIPUT(Flags)

Ilmoittavat onko paketti pilkottu tai saako sitä pilkkoa.

LOHKON SIJAINTI

Otetaan käyttöön kun joudutaan ylemmän tason paketti pilkkomaan IP-tasolla. Kenttä kertoo, mihin kohtaan alkuperäistä datagrammia pala kuuluu.

ELINAIKA (*TTL, Time to live*)

Kertoo paketin elinajan ajassa tai reititinhyppyjen määrässä. Jokainen IP -reititin vähentää TTL-arvoa ja tullessaan nolaksi se hävitetään.

PROTOKOLLA(*Protocol*)

Kertoo, paketin protokollan, jonka ylempi taso ottaa vastaan. esim. TCP tai UDP.

IP-OTSIKON TARKISTUSSUMMA (*Checksum*)

Otsikon tarkistussumma.

LÄHDEOSOITE

Lähtäjän IP -osoite.

KOHDEOSOITE

Vastaanottajan IP -osoite

OPTIOT

esimerkiksi lähdereititys, reitin tallennus

TÄYTE

Otsikko täydennetään tarpeen vaatiessa 32 bitin kerrannaiseksi.

DATA

Kuljettaa ylemmän kerroksen paketin.

4.1.2 Palvelun laatu (Quality of Service)

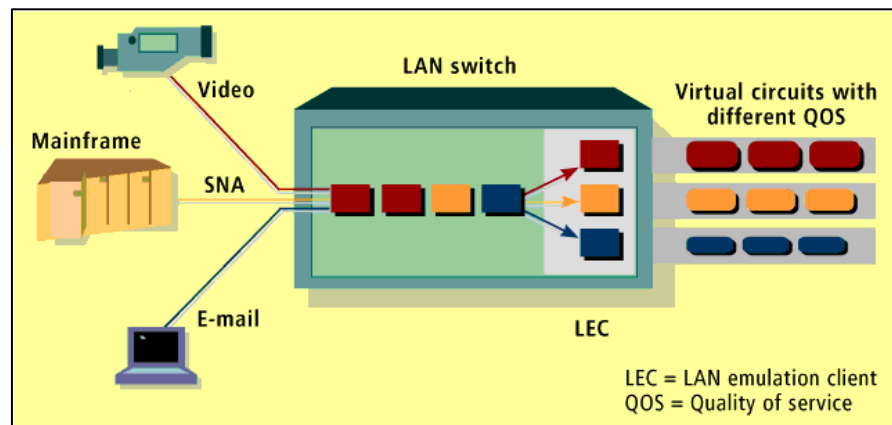
QoS tarkoittaa pakettikytkentäisen verkon tietoliikenteessä datapakettien luokittelua ja priorisointia. Sen avulla voidaan saada jokin haluttu liikenne käyttämään maksimaalista siirtokapasiteettia tai vastaavasti pudottaa koko liikenne pois siirtokapasiteetin sitä vaatiessa.

Otin tämän aiheen käsiteltäväksi siksi, koska kun siirrämme puheliikennettä IP-verkkoon (VoIP), tulee huomioida muutama tärkeä asia.

Ensinnäkin se että tulevaisuudessa mahdolliset viranomaisverkon puheliikenteet eivät saa missään tapauksessa katketa tai muutenkaan toimia katkonaisesti, joka on hyvin mahdollista IP -verkoissa. Tästä syystä on enemmän kuin todennäköistä että tietyt puhelut salataan ja niille taataan tietty kiinteä siirtokapasiteetti QoS:n avulla.

Yleisesti ottaen QoS on jaettu IP -maailmassa kahteen luokkaan: Lähiverkkotekniikoihin, eli Ethernet-tasolla toimiviin palvelun laadun tekniikoihin sekä alueverkko-tekniikoihin, eli WAN-tekniikoihin, tarkennettuna alueverkon runkoreitittimien välisten palvelun laatu tekniikoihin.

QoS-tekniikassa on erilaisia tapoja priorisoida pakettiliikennettä, mutta mainitaan ainakin WFQ (*Weight fair Queuing*), jonka idea perustuu FIFO (*First In First Out*)-periaatteeseen, eli ensin saapunut IP-paketti myös lähtee eteenpäin ensimmäisenä. Tämä FIFO-jono ei varsinaisesti priorisoi vielä mitään, mutta kun käyttöön otetaan WFQ, niin tekniikka muodostaa reitittimen puskurissa saapuneesta pakettiliikenteestä loogisia jonoja, jotka priorisoidaan painotetusti riippuen halutusta kuormasta sekä palvelun laadusta. Kuvassa 4.3 on prosessi havainnollistettu selkeämmin.



Kuva 4.3 WFQ-periaate

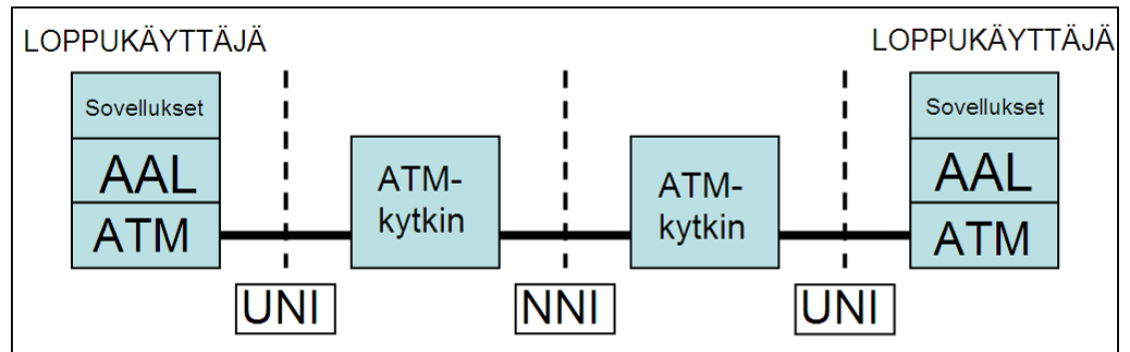
Jotta voimme pitää palvelun laadun riittävän korkeana, vaatii erilaiset puhe- ja dataliikenteet erilaisia prioriteetteja kuten RT (*Real Time*) ja BE (*Best Effort*), joilla voidaan tietyt liikenteet ruuhkan sattuessa pudottaa pois tai antaa lisää kapasiteettia. Tällaisia ovat mm. normaalit kuluttajien GSM-puheliikenteet, viranomaisverkon liikenne./12/

4.2 ATM – Asynchronous transfer mode

Käsittelen tässä työssä myös hieman ATM-tekniikkaa (*Asynchronous transfer mode, suom. asynkroninen tiedonsiirtotapa*), koska nykyinen 3G-pakettidataliikenne perustuu pitkälti ATM-pohjaiseen tiedonsiirtotapaan. ATM tekniikkana jakaa

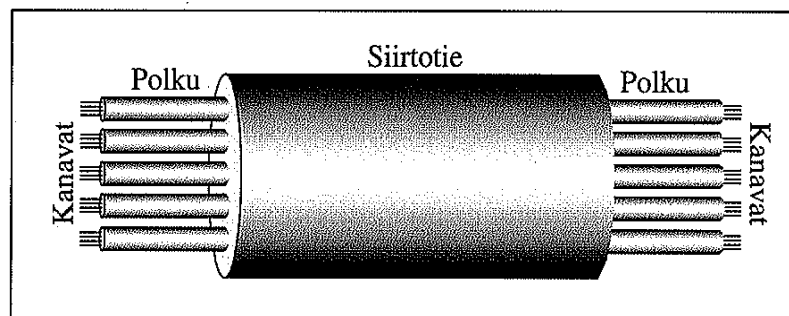
lähtevän datan pieniin, 53 tavun vakiopituisiin kehyksiin joita kutsutaan ATM-soluiksi. ATM on siis pakettikytkentäinen verkkoprotokolla.

ATM suunniteltiin alun perin kasvattamaan siirtoyhteysien nopeuksia, sekä toimimaan äänen, kuvan sekä datan yhteisenä mediana ja siitä odotettiin kansainvälistä verkkostandardia, korvaten muut siirtojärjestelmät. Yksinkertainen ATM-verkko koostuu ATM-kytkimistä sekä kytkimiä yhdistävistä ATM-linkeistä. tilaajan liitännäraajapintaa kutsutaan UNI:ksi (*User Network interface*) ja ATM-kytkimien välistä rajapintaa NNI:ksi (*Network node interface*). Lisäksi rakenteeseen kuuluu AAL (*ATM Adaptation Layer*) jonka tehtävänä on sovittaa loppukäyttäjän liikenne sopivaksi verkkoon, eli toimia eri medioiden sovittajana.



Kuva 4.6 ATM-verkon rakenne

Näihin linkeihin muodostetaan virtuaaliset polkutunnisteet (*VPI, Virtual Path Identifier*) joilla erotellaan polut toisistaan. VPI:t sisältävät edelleen virtuaaliset kanavatunnisteet (*VCI, Virtual Channel identifier*) jotka määrittävät käytettävän virtuaalikanavan. Varsinainen data liikkuu kuitenkin virtuaalikanavissa (*VCC, Virtual Channel Connection*) jotka sisältävät tiedot sekä VCI:stä että VPI:stä./2, s.270; 4; 7/



Kuva 4.7. ATM-linkin rakenne

5. LANGATON TIETOLIIKENNE

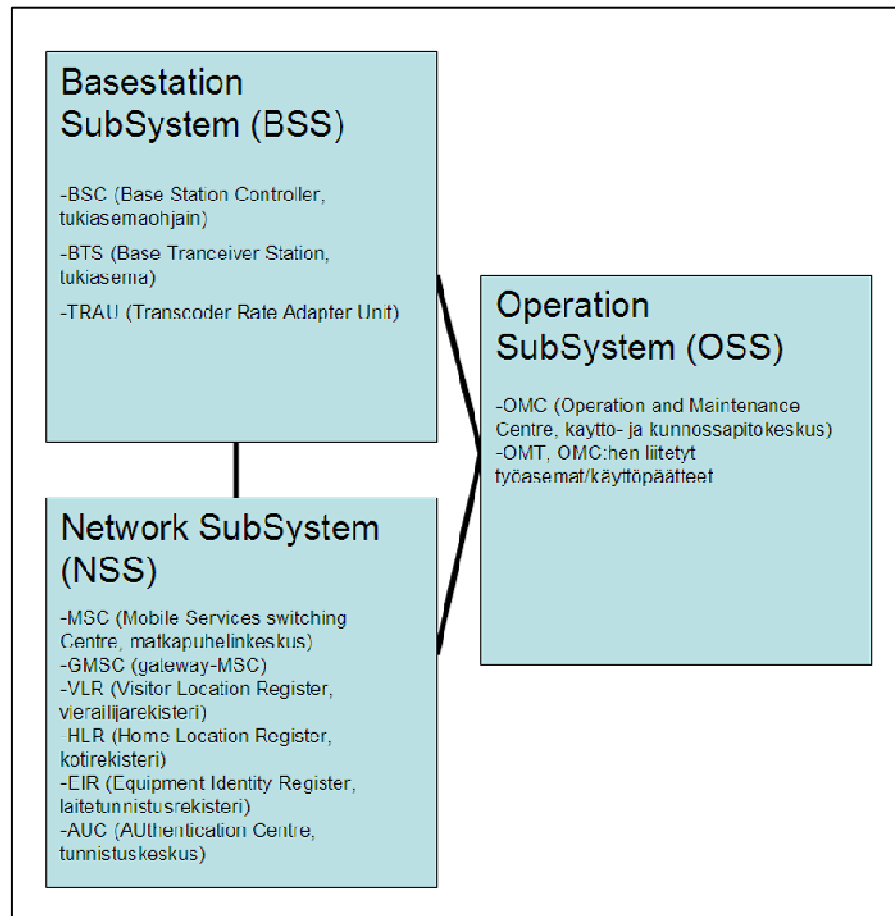
Nykypäivänä operaattorit ovat lähes pakotettuja ajamaan resurssejaan yhä enemmän langattoman tiedonsiirron puolelle kovan kysynnän vuoksi. Vielä GSM-verkon GPRS -tekniikan aikana ei nykypäivän raskasta nettiselailua voinut ilman suuria viiveitä harrastaa ja vasta UMTS -verkko on sen mahdollistanut huomattavasti paljon suuremman tiedonsiirtonopeutensa vuoksi. Toki GSM:n peittoalue on huomattavasti suurempi kuin UMTS -tekniikalla, ja varsinkin syrjäisemmillä alueilla joudumme tyytymään yhä GPRS -tiedonsiirtoon. UMTS -verkko laajenee kuitenkin hurjaa vauhtia ja yhä kehitellään uusia tekniikoita kasvattaa mobiili-tiedonsiirron nopeutta. Olennaisena osana käsittelen myös näitä kahta tärkeintä osaa eli GSM- sekä UMTS -tekniikkaa, jotka tulevat olemaan tässä työssä tärkeimmässä roolissa kun kehystämme niiden aikajakaiset -ja ATM-pohjaiset liikenteet IP-verkkoon.

5.1 GSM

GSM, (*Groupe Spécial Mobile* tai *Global System for Mobile Communications*) kehitettiin 1980-luvun alussa Euroopan yhteiseksi matkapuhelinjärjestelmäksi. Tänä päivänä se käsittää yhteisen matkapuhelinverkon maailmanlaajuisesti. GSM:stä käytetään myös nimitys 2G (*second generation*), toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä.

GSM tekniikkana käsittää digitaalisen puheliikenteen sekä pakettipohjaisen dataliikenteen, GPRS:n (*General packet radio service*).

Lyhyesti kerrottuna GSM-verkko koostuu BSS:stä (*Base Station Subsystem*), NSS:stä (*Network SubSystem*) ja OSS:stä (*Operation Sub-System*). Näistä olennaisena osana käsitellään BSS:ää, koska siihen sisältyy tässä työssä käsiteltävät GSM -tukiasemat (BTS) sekä näitä ohjaavat tukiasemaohjaimet (BSC)./2, s.296; 12/



Kuva 5.1 GSM-verkon rakenne

GSM-verkon toimintaperiaate on että liikkuva mobiililaitte esimerkiksi matkapuhelin, saa yhteyden ympärillä säteileviin GSM-tukiasemiin (BTS). Koska GSM-tukiasemat voivat sisältää useita antennejä erisuuntiin, ne muodostavat ns. solun, josta tulee nimitys solutekniikka. Toisaalta, tiheästi asutuilla alueilla voi tukiasema sisältää itsessään useita soluja. Tukiasemat ovat vastaavasti yhteydessä niitä ohjaaviin tukiasemaohjaimiin, joiden tehtävä taas on mm. radiokanavien varaaminen ja vapauttaminen sekä handoverien, eli soluvaihdon hallinta. Näistä muodostuu kokonaisuus Base station subsystem (BSS).

Verkko- ja kytkentäosa NSS:n keskeisin osa on matkapuhelinkeskus, MSC. Sen tehtävä on kytkeä puhelut toisiinsa GSM-verkossa sekä GSM-verkon ja ulkopuolisen verkon välillä. Toiminta muistuttaaakin perinteistä puhelinkeskusta, koska se kytkee GSM-verkon PCM-kanavat toisiinsa aivan kuten kiinteänverkon keskuskin.

Operaattorit hoitavat verkkoaan Hallintaosan, OSS:n kautta. OSS:n avulla voidaan hallita esimerkiksi viat, tarvittavat konfiguraatiot, laskutukset, turvallisuusasiat ja suorituskyky.

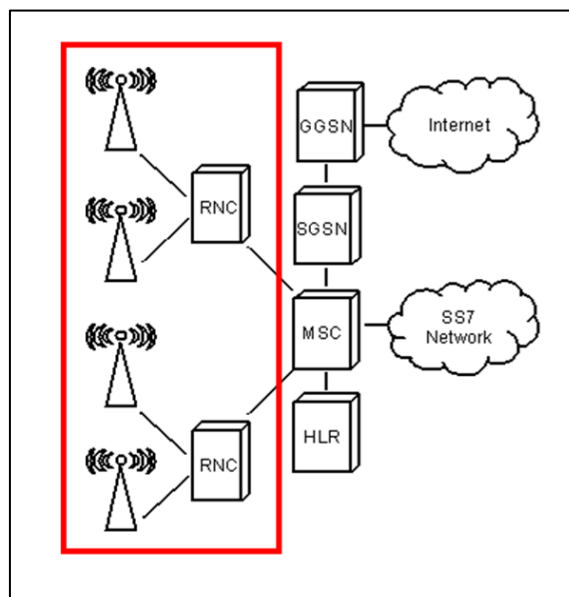
5.2 UMTS

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)-järjestelmää alettiin kehittää YK:n alla toimivan kansainvälisen teleunionin, ITU:n toimesta 1990-luvulla tarkoituksena luoda uuden, maailmanlaajuisen matkapuhelinjärjestelmän suositukset joita olivat:

- Äänen laatu pitää vastata kiinteän verkon laatua.
- Datanopeus liikkuvasta autosta vähintään 144 kbit/s
- Jalankulkijalle ja paikallaan seisovalle käyttäjälle siirtonopeus 384 kbit/s
- Paikallaan olevalle kiinteälle laitteelle voidaan tarjota 2Mbits/s siirtonopeutta
- Tuki piiri- ja pakettikytkentäiselle liikenteelle
- Radiokaistan tehokas käyttö

UMTS- radioverkko, ts. UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) koostuu tukiasemista (Node B) ja 3G-tukiasemaohjaimista (RNC) jotka ovat yhteydessä tukiasemakeskukseen (MSC). Tämän rajapinnan kautta ne myös yhdistyvät GSM-verkon kanssa.

UMTS -liikenne perustuu ATM-pohjaiseen IMA-tekniikkaan (*Inverted multiplexing over ATM*), jossa otetaan käyttöön kaksi tai useampi E1-liikenne käyttöön ja muodostetaan nämä yhdeksi loogiseksi johtimeksi, jossa liikenne virrataan ATM-tekniikasta tutulla solutekniikalla. /1, s.421 /



Kuva 5.2 UMTS-verkon rakenne

6. TDMoP-Time Division Multiplexing over Packet

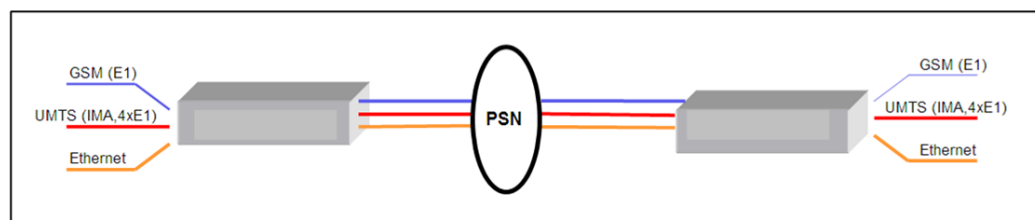
Tässä osassa käsitellään tämän työn pääaihe eli TDMoP -tekniikka. Yksinkertaisesti mainittuna tarkoittaa siis sitä, että piirikytkentäisen verkon aikajakoinen puheliikenne sekä 3G:n käyttämät ATM-solut ”koteloidaan” pakettikytkentäisen verkon pakettiin. Riippuen siitä, millä OSI-mallin kerroksella olemme, riippuu myös mitä pakettikytkentäisen verkon protokollaa käytämme. Keskitymme työssä Ethernet (Siirtokerros)-, IP- (Verkkokerros)- sekä MPLS (Siirtokerros)- verkkojen paketteihin. Yleisesti voimme ajatella, että piirikytkentäinen verkko pitää sisällään palvelut kuten PDH-liikenne, SDH-liikenne (E1), FrameRelay ja ATM (IMA).

6.1 Looginen tilaajajohto, pseudowire

Looginen tilaajajohto tarkoittaa päästä päähän yhteyttä IP-verkon yli tietyllä taatulla siirtokapasiteetilla varustettuna. Tämän tapahtuman mahdollistaa CESoPSN (*Circuit emulation services over packet switched network*) joka nimensä mukaisesti siirtää aikajakoista liikennettä IP-verkon yli luoden nk. virtuaalisen linjan. Tätä linjaa kutsutaan nimellä pseudowire (lyh. PW)

Sen avulla voimme hyödyntää IP-verkkoa entistä paremmin tuoden esimerkiksi asiakkaalle tietyn kaistan puheliikennettä varten (*VoIP, Voice over IP*).

Kuvassa 6.3 on esitetty yksinkertainen loogisten tilaajajohtojen periaatteet, jossa A - ja B-päässä sijaitsevat TDMoP-gateway -laitteet jotka muodostavat loogisen johdon pakettikytkentäisen verkon yli(Internet).



Kuva 6.1 Loogisia tilaajajohtoja (pseudowire) pakettikytkentäisessä verkossa

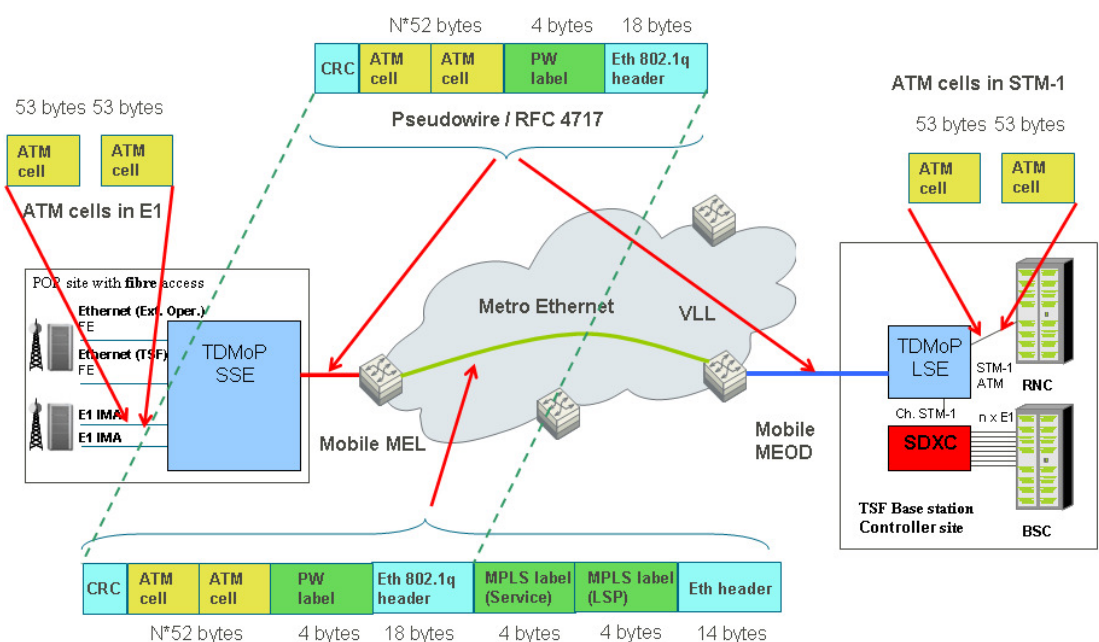
Pseudowirea voidaan käyttää sekä kuvan, äänen että datan siirtoon ja näin ollen siitä voidaan muodostaa erittäin monikäyttöinen, joustava, muokattava, edullinen (verrattuna fyysiseen) ja erilaisilla salausmenetelmillä myös kohtuullisen tietoturvallinen yhteysratkaisu yrityksille, yksityisille ja muille asiakkaille. Tämä on

yksi suurimmista syistä, jonka takia operaattorit siirtävät tekniikkaa ja resursseja yhä enemmän määrin pakettikytkentäisen verkon puolelle.

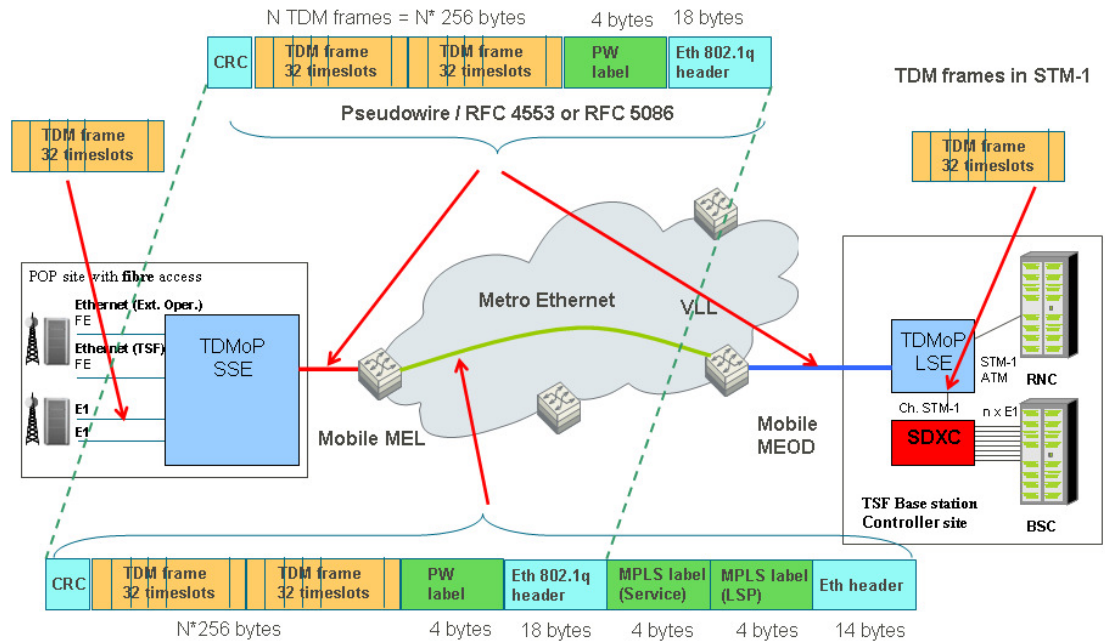
Tässä työssä muodostettavat pseudowiret noudattavat IETF:n (*The Internet Engineering Task Force*) alla toimivan PWE3 (*pseudowire emulation edge to edge*)-työryhmän määrittelemiä standardeja loogisten johtojen osalta ATM:lle TDM:lle ja FrameRelaylle ja Ethernetille. /15; 18/

TDMoP-palveluita sekä pseudowirejä voidaan toteuttaa hyvin monilla eri tavoilla. Seuraavaksi on mainittu tässä työssä tarvittavia pseudowire -palveluja:

- **SAToP** *structure-agnostic transport of TDM over Packet*
 - Kehystämättömille E1 nopeuksille (ITU-T G.703) mm. 2G-tukiasemien puheliikenne, voidaan viedä sekä E1- tai STM-1 VC-12.
- **ATMoP** *ATM over Packet*
 - ATM-pohjaisen IMA –liikenteelle. UMTS -tukiasemaliikenne.
- **CESoPSN** *Structure – Aware Time Division Multiplexed (TDM) Circuit Emulation Service over Packet Switched Network*
 - Kehystetyille E1-liikenteille (ITU-T G.704), kehyksessä mukana synkronointikanava. Voidaan ”napata” E1-kehykseltä esim. yksi 64k kanava. Voidaan käyttää E1-liitäntää (n x 64k) tai kanavoitua STM-1 (VC-12 n x 64k).



Kuva 6.2 ATM-pohjaisen liikenteen pseudowire (ATMoP)



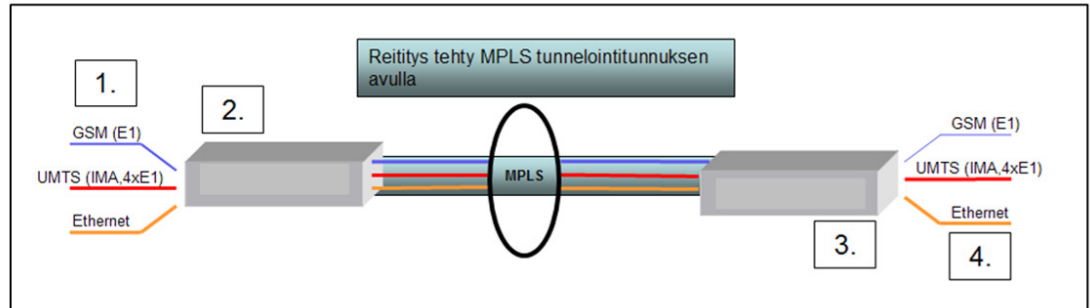
Kuva 6.2 TDM-pohjaisen liikenteen pseudowire (SAToP/CESoPSN)

6.1.1 Loogisen johtimen muodostaminen siirtokerroksella

Tässä käsitellään lyhyesti miten loogisen tilaajajohdon muodostaminen tapahtuu eri OSI-malli kerroksissa. Ensimmäisenä käsitellään OSI-mallin 2.kerroksella toimiva MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) verkon yli tapahtuva loogisen johtimen muodostus. MPLS on pääsääntöisesti käytössä runkoverkoissa sekä nopeissa alueverkoissa ja se on yksi yhteinen protokolla runkoverkkojen kytkimille. MPLS muodostaa pakettikytkentäiseen verkkoon LSP-polkuja, jotka omalla tavallaan muistuttavat hieman piirikytkentäisen verkon kiinteää reittiä. Näitä polkuja pitkin reititin lähettää paketit eteenpäin ottaen huomioon niille määritetyt priorisaatiot. Tämä vähentää huomattavasti eri kytkimien reitityslaskutoimituksia ja vastaavasti vähentää viivettä, joka vaikuttaa olennaisesti aikakriittiseen puheliikenteeseen.

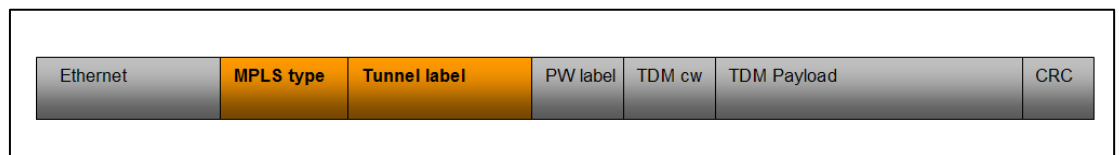
Tekniikka yleisesti tarkoittaa sitä, että siinä eri medioille, kuten ATM ja TDM-liikenteelle muodostetaan pseudowire (1.), johon tilaajan aikajakoinen liikenne kapseloidaan IP-pakettiin. Tämän jälkeen MPLS lisää omat tunnelointitunnuksen IP-otsakkeeseen, ja paketti lähetetään pakettikytkentäiseen verkkoon (2.). Näille paketeille, riippuen niiden QoS:n asettamasta prioriteetista, MPLS on määrännyt niille tietyn loogisen reitin, jota pitkin johdetaan nämä IP-paketit perille.

Vastaanottopäässä vastaavasti vastaanottava kytkin avaa tulleet IP-paketit (3.) ja purkaa ne asiakkaan aikajakoiseksi liikenteeksi (4.). /18; 20/



Kuva 6.2 Toteutus MPLS-verkoissa (TDMoME)

Seuraavassa on esitetty MPLS-verkoissa muodostettu TDMoME-kehys josta selviää ME-verkoissa muodostettavan loogisen johtimen rakenne.



Kuva 6.3 TDMoME-kapselointi

Ethernet

- pituus 16 tavua, sisältäen MAC-osoitteen ja CRC-virheentarkistuksen lisäksi 4 lisäbittiä virtuaalisia lähiverkkokanavia varten(VLAN)

MPLS-type

- pituus 2 tavua, MPLS-paketin tunnistukseen

Tunnel-label

- pituus 4 tavua, MPLS-verkon LSP:n (*label switching path*) esikonfigurointia varten

PW-label (*pseudowire-label*)

- pituus 4 tavua, loogisen johtimen tunnistamisen esikonfigurointia varten

TDM CW (*TDM Control word*)

- pituus 4 tavua, sekvenssinumerointi ja ohjausbitit, joita käytetään datan ohjaamiseen loogisessa johdossa

TDM payload (*TDM liikenteen hyötykuorma*)

- pituus 32-512 tavua riippuen kapseloitavien aikavälien määrästä

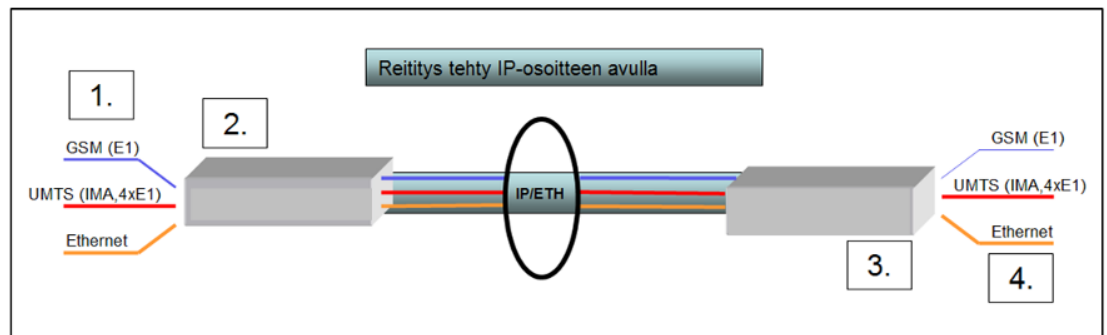
CRC (*Cyclic redundancy check*)

- Virheentarkistus

6.1.2 Loogisen johtimen muodostaminen verkkokerroksella

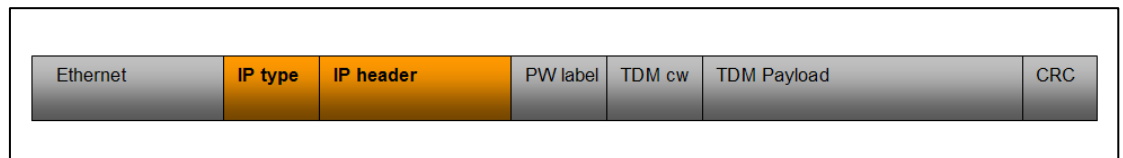
Sama logiikka toistuu myös IP-verkossa (verkkokerros) tapahtuva loogisen johtimen muodostus. Erona TDMoME-toteutukseen on se, että kun ME- verkoissa loogisen johtimen reitti muodostettiin IP -pakettiin lisättävän Tunnel- ja MPLS tunnisteiden avulla, muodostetaan se IP-verkoissa vastaavasti lisäämällä kehykseen 20-bittinen IP-otsake (*IP-header*).

Nyt ATM ja TDM- liikenteelle muodostetaan pseudowire (1.), johon tilaajan aikajakoinen liikenne kapseloidaan. Tämän jälkeen pakettiin lisätään em. IP-otsake, ja paketti lähetetään tässä tapauksessa esimerkiksi IP-pohjaiseen Ethernet-lähiverkkoon (2.). Vastaanottopäässä vastaavasti vastaanottava kytkin avaa tulleet IP-paketit (3.) ja purkaa ne asiakkaan aikajakoiseksi liikenteeksi (4.)./18; 20/



Kuva 6.4 Toteutus IP/ETH -verkoissa (TDMoIP)

Seuraavassa kuvassa on käsitelty IP-verkossa lähettävän TDMoIP -kehyksen rakenne.



Kuva 6.5 TDMoIP-kapselointi

Ethernet

- pituus 16 tavua, sisältäen MAC-osoitteen ja CRC-virheentarkistuksen lisäksi 4 lisäbittiä virtuaalisia lähiverkkokanavia varten(VLAN)

IP- type (*IP-tyyppi*)

- 2 tavuinen IP-paketin tunnistus

IP- header (*IP-otsake*)

- 20 tavuinen IP-paketin otsake, käsittäen kohdan 4.1.1

PW- label (*pseudowire-label*)

- pituus 4 tavua, loogisen johtimen tunnistamisen esikonfigurointia varten

TDM CW (*TDM Control word*)

- pituus 4 tavua, sekvenssinumerointi ja ohjausbitit, joita käytetään datan ohjaamiseen loogisessa johdossa

TDM payload (*TDM liikenteen hyötykuorma*)

- pituus 32-512 tavua riippuen kapseloitavien aikavälien määrästä

CRC (*Cyclic redundancy check*)

- Virheentarkistus

7. LAITTEISTO

Tämä osuus on luottamuksellinen.

8. TDMoP-TUKIASEMIEN SUUNNITTELU

Tämä osuus on luottamuksellinen.

9. LÄHTEET

Painetut lähteet

1. [TIETOLIIKENNE], DOCENDO, Kaj Granlund, WSOY 2007
2. [TIETOLIIKENNE], Teknolit, Kaj Granlund WSOY 2000
3. [PUHELINLAITTEET], Teknisten jäsenpalvelu Oy, P. Kaarna, K. Mäkikara, Gummerus Kirjapaino Oy
4. [TIETOLIIKENTEEN TEKNIikka] Suomen ATK-kustannus Oy, Pekka Uotila, Gummerus Kirjapaino Oy
5. [OPTISET LIITYNTÄVERKOT], Onninen, 2008

Sähköiset lähteet

6. ATM-lähiverkkolaitteet.[WWW-sivu]. Saatavissa:
<http://users.jyu.fi/~annauvi/harjtyot/johdtli/ATM.html#verkkokortti>
7. TIETOVERKOT.[sähköinen dokumentti] K. Kaario ja M. Wikström, JYU 2006. Saatavissa: <http://www.jyu.fi/it/laitokset/mit/opiskelu/kurssimateriaalia/Tietoverkot%20syksy%202006.pdf>
8. INTERNETIX. [WWW-sivu]. Matti Koivisto. Saatavissa:
http://oppimateriaalit.internetix.fi/fi/avoimet/6tekniikkatalous/tietoliikenne/pcm_verkot
9. Pakettikytkentä & Piirikytkentä.[sähköinen dokumentti] Lapr:n TY, 2003. Saatavissa: <http://www.it.lut.fi/kurssit/03-04/010602000/Luennot/osa4.pdf>
10. FUNET, [WWW-sivu]. Saatavissa:
<http://www.nic.funet.fi/index/FUNET/history/heureka/tcpip.html>
11. TERABITTI. [sähköinen dokumentti]. Saatavissa:
<http://tisu.it.jyu.fi/terabitti/Documents/QoSselvitys.pdf>
12. NOPEA GSM - UDET DATASIIRTOTEKNIIKAT. [WWW-sivu]. Saatavissa:
http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-110.300/1998/Newtech/nopea_gsm_3.html
13. IMA. [WWW-sivu], Jupitermedia Corporation, 2009. Saatavissa:
<http://wi-fiplanet.webopedia.com/TERM/I/IMA.html>
14. PWE3.[WWW-sivu]. Saatavissa:
<http://www.ietf.org/html.charters/pwe3-charter.html>

15. Verkkotekniikat ja Internetin arkkitehtuuri. [sähköinen dokumentti]. Saatavissa:
<http://www.cs.tut.fi/kurssit/TLT-2600/t2005-06/TLT-2600-luento-1-071205.pdf>
16. Sonera sisäinen ohje: TDMoP-laitesuunnitteluohje, Jorma Väistö 2008
17. Sonera sisäinen ohje: TDMoP-laiteasennusohje, Jorma Väistö 2008
18. Sonera sisäinen ohje: A3-k.ppt, Mika Nysten, 2008
19. OSI-malli [WWW-sivu] Wikipedia. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:OSI-malli.jpg>

Painamattomat lähteet

20. Nysten, Mika, Senior Technology Specialist. Haastattelu 19.2.2009. TeliaSonera Finland Oyj. Tampere.

10. LIITTEET

- 1.0–1.5 xxx asennussuunnitelma
- 2.0–2.4 xxx asennussuunnitelma
- 3.0–3.4 xxx asennussuunnitelma
- 4.0–4.2 xxx asennussuunnitelma